

STUDI PEMANFAATAN 'CONSTRUCTED WETLAND' (RAWA BUATAN) SEBAGAI KOMPONEN EKO-DRAINASE SESUAI SIFAT-SIFAT HUJAN DI WILAYAH MANADO

Isri Ronald Mangangka

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

e-mail: isri.mangangka@unsrat.ac.id

ABSTRAK

Masalah banjir dan kerusakan lingkungan merupakan konsekuensi dari pembangunan. Dampak tersebut termasuk perubahan terhadap kualitas air hujan maupun kuantitasnya (Goonetilleke dkk. 2005; Prakash 2005; Wong 2006). Hal ini disebabkan karena bertambahnya bagian permukaan lahan yang kedap air dan meningkatnya aktivitas kehidupan manusia yang menambah produksi berbagai jenis limbah (Herngren dkk. 2006). Kota Manado merupakan kota yang strategis dan memiliki perkembangan dan tingkat pertumbuhan penduduk dan ekonomi yang sangat pesat. Dalam kurun waktu kurang dari dua dasawarsa, lebih dari 50 ha kawasan bisnis baru telah dikembangkan melalui upaya reklamasi Pantai Manado. Demikian pula manjamurnya pembangunan wilayah pemukiman baru dalam sepuluh tahun terakhir ini telah menyebabkan perubahan fungsi lahan Kota Manado yang sangat signifikan. Melejitnya pembangunan dan pembukaan lahan baru baik untuk kawasan ekonomi/bisnis maupun kawasan pemukiman secara signifikan mengakibatkan penurunan kualitas lingkungan hidup (environmental degradation).

Penerapan sistem drainase yang berwawasan lingkungan (eko-drainase) yang merupakan komponen dari model pembangunan perkotaan (urban development) yang modern dan berwawasan lingkungan sangat diperlukan untuk mewujudkan Visi Kota Manado yaitu “Manado Kota Model Ekowisata”. Water Sensitive Urban Design (WSUD) merupakan salah satu konsep penanganan air hujan yang berwawasan lingkungan yang dapat menggantikan sistem drainase konvensional.

Tujuan penelitian ini adalah untuk meninjau dan mengevaluasi efektivitas salah satu komponen WSUD sebagai sistem eko-drainase, yaitu “constructed wetland” (rawa buatan) agar diperoleh dimensi yang optimal berdasarkan sifat-sifat hujan di wilayah Manado. Hasil evaluasi berupa perhitungan dimensi yang optimal tersebut selanjutnya dapat diusulkan untuk dijadikan standar perencanaan.

Kata kunci : Eko-drainase, constructed wetland, rawa buatan

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Dampak urbanisasi terhadap siklus air alami sangatlah jelas. Dampak tersebut termasuk perubahan baik terhadap kualitas air hujan maupun kuantitasnya (Goonetilleke dkk. 2005; Prakash 2005; Wong 2006). Bertambahnya bagian permukaan kedap air akibat urbanisasi telah menyebabkan lebih sering terjadi dan makin besarnya volume limpasan permukaan air hujan karena makin berkurangnya infiltrasi air hujan ke dalam tanah (Clar dkk. 2004a; Wong dkk. 2000). Hal lain yang merupakan dampak urbanisasi terhadap kuantitas air hujan yaitu makin pendeknya waktu konsentrasi (lag time) yang diakibatkan pada makin besarnya debit limpasan permukaan (runoff). Dampak hidrologi dan hidrolika air hujan di perkotaan telah disadari

sebagai ancaman yang serius terhadap lingkungan. Akan tetapi, dampak urbanisasi terhadap kualitas air hujan adalah jauh lebih kritis. Hal ini disebabkan karena meningkatnya aktivitas kehidupan manusia yang menambah produksi berbagai jenis limbah (Herngren dkk. 2006).

Pelestarian lingkungan belakangan ini telah menjadi topik yang menarik perhatian berbagai kalangan, mulai dari masyarakat biasa, para ahli ilmu pengetahuan dan pemerintah sebagai pemegang regulasi. Kerusakan lingkungan yang diakibatkan oleh polusi hasil buangan aktivitas manusia, termasuk polusi air hujan merupakan masalah yang perlu disikapi dengan serius, mengingat lingkungan yang telah rusak tidak dapat diperbaiki. Meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap polusi air hujan dan dampaknya terhadap lingkungan tahun-tahun belakangan ini telah meningkatkan perhatian semua pihak akan strategi penanganan air hujan

di perkotaan yang berfokus pada pembersihan bahan pencemar (pollutant) air hujan. Perhatian publik akan pentingnya penanganan polusi air hujan di perkotaan telah menyebabkan pemerintah selaku pemegang otoritas regulasi ditantang untuk menyediakan sistem manajemen yang bijaksana dan sesuai (Goonetilleke dan Thomas 2003).

Penerapan sistem drainase yang berwawasan lingkungan (eko-drainase) dirasakan sebagai salah satu upaya untuk menjawab persoalan ini. Secara tradisional sistem drainase perkotaan bertujuan untuk membuang air limpasan permukaan secepat-cepatnya untuk meminimalkan resiko banjir. Akan tetapi, dengan meningkatnya kesadaran masyarakat atas persoalan-persoalan lingkungan belakangan ini, penanganan air hujan tidak hanya difokuskan pada penanganan kuantitasnya tetapi lebih terintegrasi pada manajemen kuantitas dan kualitas dengan tambahan tujuan/sasaran yaitu keramahan (amenity), pemandangan dan estetika, konservasi air dan restorasi ekologi (Victorian Stormwater Committee 1999; Wong 2000; Brown 2005).

“Constructed Wetland” (Rawa Buatan), adalah salah satu komponen yang digunakan pada sistem eko-drainase. Rawa Buatan adalah komponen eko-drainase yang terintegrasi yang bermanfaat tidak hanya menangani kuantitas dan kualitas air hujan, tapi juga menciptakan keramahan, estetika dan keindahan, konservasi air dan restorasi ekologi. Studi detail terhadap Rawa Buatan sebagai komponen eko-drainase telah banyak dilakukan, diantaranya oleh Mangangka, dkk (2013), Mangangka, dkk (2015) dan Mangangka, dkk (2016)

Rumusan Masalah

Manado sebagai Ibu Kota Provinsi Sulawesi Utara merupakan kota yang strategis dan memiliki perkembangan dan tingkat pertumbuhan penduduk dan ekonomi yang sangat pesat. Angka pertumbuhan penduduk yang cukup tinggi yaitu sekitar 1,26% per tahun dibarengi dengan laju pembangunan infrastruktur yang sangat pesat mengakibatkan perubahan kondisi lahan dan penurunan daya dukungnya. Melejitnya pembangunan dan pembukaan lahan baru baik untuk kawasan ekonomi/bisnis maupun kawasan pemukiman secara signifikan mengakibatkan penurunan kualitas lingkungan hidup (environmental degradation). Dalam kurun waktu kurang dari dua dasawarsa, lebih dari 50 ha kawasan bisnis baru telah dikembangkan melalui upaya reklamasi Pantai Manado. Demikian pula

manjamurnya pembangunan wilayah pemukiman baru dalam sepuluh tahun terakhir ini telah menjadikan nilai properti di Kota Manado meningkat 5 kali lipat. Di satu sisi, Pemerintah Kota Manado mencanangkan arah pembangunan Kota Manado menjadi kota yang berwawasan lingkungan. Hal ini tertuang dalam Visi Kota Manado yaitu “Manado Kota Model Ekowisata”.

Melejitnya pembangunan Kota Manado khususnya pengembangan kawasan bisnis/komersil dan pengembangan kawasan pemukiman baru menjadikan tantangan bagi pemerhati lingkungan hidup, para ahli dan Pemerintah Kota Manado sebagai pemegang otoritas regulasi agar pembangunan ini terkendali dengan dampak lingkungan yang sekecil mungkin. Upaya penerapan pembangunan yang berwawasan lingkungan di berbagai sektor terutama pembangunan sarana dan prasarana fisik mutlak diperlukan demi terwujudnya kota yang berwawasan lingkungan sesuai dengan Visi Kota Manado.

Sistem drainase yang merupakan salah satu fasilitas infrastruktur perkotaan juga perlu mendapat perhatian. Sistem drainase yang berwawasan lingkungan (eko-drainase) sebagai alternative dari sistem drainase konvensional perlu diterapkan untuk mewujudkan Kota Manado sesuai dengan visinya. Rawa Buatan sebagai komponen eko-drainase telah dimanfaatkan dan dibangun dalam jumlah yang besar di negara-negara maju seperti Amerika Serikat dan Australia. Meskipun Rawa Buatan telah berhasil dikembangkan di banyak kota di dunia, namun karena kota-kota di Indonesia memiliki perbedaan karakteristik terutama perbedaan iklim dan tinggi curah hujan serta sifat-sifat curah hujan, akan menjadi pertanyaan dan tantangan bagaimana Rawa Buatan dapat diterapkan di Indonesia. Meskipun di negara-negara maju telah memiliki pedoman perencanaan Rawa Buatan, menerapkan pedoman itu di Indonesia adalah mustahil.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi/ kajian pemanfaatan Rawa Buatan sebagai komponen eko-drainase sistem untuk wilayah Manado dan sekitarnya. Lebih jauh penelitian ini akan mengkaji bagaimana karaktersistik curah hujan dan iklim di wilayah Manado mempengaruhi dimensi dan kapasitas Rawa Buatan agar Rawa Buatan memiliki unjuk kerja yang optimal.

TINJAUAN PUSTAKA

‘CONSTRUCTED WETLAND’ (RAWA BUATAN)

Sistem eko-drainase adalah salah satu metoda penanganan air hujan yang terintegrasi dan berkelanjutan, diciptakan sebagai alternatif dari sistem drainase perkotaan konvensional. Sistem eko-drainase memiliki pendekatan filosofi untuk model dan perencanaan perkotaan yang bertujuan untuk meminimalkan dampak hidrologi dari pembangunan perkotaan terhadap lingkungan sekitar (Lloyd dkk. 2002). Constructed Wetland (Rawa Buatan) adalah salah satu komponen sistem eko-drainase yang merupakan bangunan/unit penanganan air hujan yang mencegah, membawa dan mengumpulkan bahan pencemar (polutan), mendukung proses penjernihan polutan melalui proses fisik, kimia dan biologi, serta menahan limpasan air hujan untuk mencegah banjir dan meningkatkan kualitas air hujan.

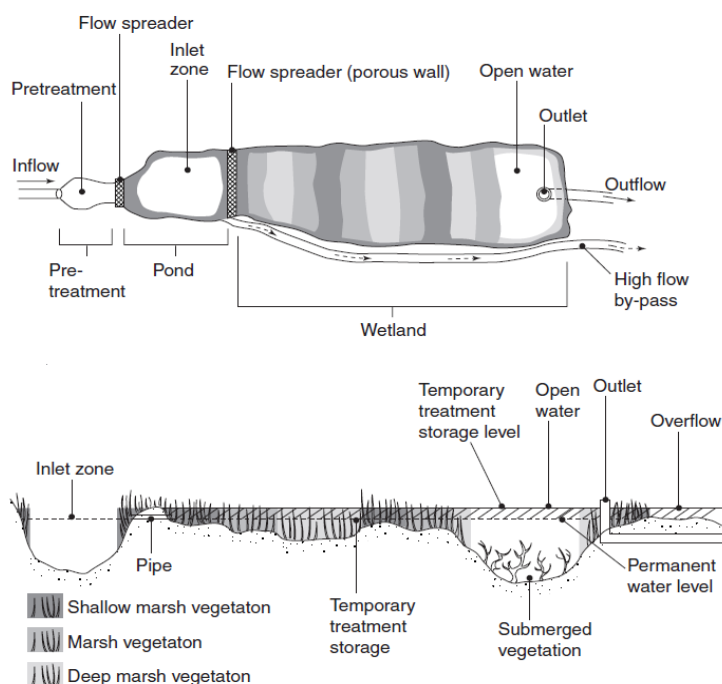
Ciri-ciri Umum Constructed Wetland (Rawa Buatan)

Constructed wetland (rawa buatan) adalah badan air buatan yang dangkal dan padat dengan vegetasi. Rawa Buatan pada dasarnya diciptakan untuk menghilangkan polutan, untuk meningkat-

kan keindahan pemandangan dan untuk memastikan ketersediaan air untuk digunakan kembali sebagai keuntungan tambahan (Department of Water and Swan River Trust 2007). Sebuah Rawa Buatan umumnya terdiri dari zona inlet, zona vegetasi sebagai areal utama dari wetland, dan saluran bypass. Zona inlet berupa kolam sedimentasi yang relatif dalam dengan vegetasi pada pinggirannya serta sebagian tenggelam, terletak di bagian hulu dan umumnya digunakan untuk pre-treatment untuk sedimen kasar dan polutan berukuran besar pollutants (Victorian Stormwater Committee 1999; Department of Water and Swan River Trust 2007).

Zona vegetasi sebagai bagian utama dari sistem wetland memiliki tubuh air yang dangkal yang padat dengan vegetasi yang muncul dari permukaan air. Ada beberapa zona yang spesifik untuk vegetasi yang melingkupi Rawa Buatan dimana setiap zona umumnya ditentukan oleh kedalaman air (Gambar 1).

Gambar 1 memperlihatkan bahwa Rawa Buatan memiliki 4 zona vegetasi yaitu zona vegetasi dangkal (shallow marsh vegetation), zona vegetasi rawa (marsh vegetation), zona vegetasi rawa dalam (deep marsh vegetation) dan zona vegetasi tenggelam submerged vegetation) (Victorian Stormwater Committee 1999).



Gambar 1: Tipikal Rawa Buatan
(Sumber: Victorian Stormwater Committee 1999)

Rawa Buatan juga memiliki permukaan air terbuka yang memungkinkan masuknya sinar ultraviolet. Limpasan permukaan (runoff) yang memasuki zona vegetasi dikontrol di zona inlet menggunakan sistem bypass, untuk melindungi zona vegetasi. Namun demikian, juga mengurangi efektivitas treatment dari Rawa Buatan (Melbourne Water 2005; SEQHWP 2006).

Kemampuan Menangani Kuantitas Air Hujan

Rawa Buatan membantu mengurangi volume dan debit puncak runoff melalui proses infiltrasi, evaporasi dan retensi. Efektivitas hidrologi dalam menahan air hujan ditentukan oleh interaksi antara tiga faktor yaitu waktu retensi, karakteristik inflow dan volume tampungan (Wong dkk. 1999). Waktu retensi yang lama pada sistem Rawa Buatan memastikan terjadinya reduksi yang signifikan dari debit puncak runoff. Akan tetapi, karena kondisi Rawa Buatan yang jenuh air, sangat sedikit perkolasi air hujan ke dalam tanah. Parker dkk. (2009) melaporkan bahwa sebuah Rawa Buatan di Queensland Tenggara, Australia mengurangi volume runoff hanya sebesar 5%.

Kemampuan Menangani Kualitas Air Hujan

Rawa Buatan dikatakan sebagai fasilitas perawatan kualitas air hujan, khususnya ketika air hujan mengandung polutan terlarut berkonsentrasi tinggi dimana sangat sulit untuk dihilangkan oleh fasilitas perawatan air hujan lainnya (Bautista and Geiger 1993; Mitsch and Gosselink 1986; Scholz 2006). Penjernihan air hujan pada Rawa Buatan dihasilkan melalui proses pengendapan, ditangkap oleh vegetasi, penyerapan, penyaringan dan dekomposisi biologi (Mitsch and Gosselink 1986; DCR 1999). Telah dilaporkan bahwa vegetasi pada wetland meningkatkan kualitas air hujan melalui proses sedimentasi, penyaringan nutrisi dan polutan lain melalui akar, batang dan daun dan membantu pertumbuhan biofilm yang dapat mengasimilasi nutrisi-nutrisi terlarut pada air hujan (Dierberg dkk. 2002; Ellis dkk. 1994; Jenkins and Greenway 2005; Kohler dkk. 2004).

Perubahan kedalaman pada wetland tegak lurus pada arah aliran air hujan dapat mengubah dan menghilangkan nitrogen melalui berbagai reaksi kimia. Zona dangkal umumnya baik mengandung oksigen dan karenanya mendukung proses mineralisasi dan nitrifikasi. Mineralisasi adalah proses penguraian nitrogen menjadi ammonium dan fosfor organik menjadi fosfat (PO_4). Konversi biologis tersebut dilakukan oleh bakteri (Mitsch and Gosselink 1986). Nitrifikasi adalah konversi biologis organik dan anorganik

nitrogen dari keadaan kekurangan menjadi kondisi yang lebih oksidasi (Wetzel 1983). Ini terjadi melalui dua tahap yang berurutan yaitu oksidasi ammonium dan oksidasi nitrit. Oksidasi ammonium adalah konversi ammonium (NH_4) menjadi nitrit (NO_2) oleh bakteri *Nitrobacter* sp., kemudian dilanjutkan dengan oksidasi nitrit yaitu konversi nitrit (NO_2) menjadi nitrat (NO_3) oleh bakteri *Nitrosomonas* sp. (Davies and Hart 1990). Saat air hujan mengalir ke zona dalam, terjadilah proses denitrifikasi yaitu konversi nitrat menjadi gas nitrogen. Proses ini terjadi dalam 2 tahap, yaitu konversi nitrat dan nitrit menjadi oxide nitric (NO) kemudian menjadi oksida nitrous (N_2O) dan nitrogen (N_2) yang selanjutnya dibuang ke udara (Wetzel 1983).

Pada constructed wetland terjadi pula penjernihan terhadap logam berat. Logam berat dapat dihilangkan melalui proses sedimentasi, penyerapan dan penangkapan oleh tumbuh-tumbuhan. Unjuk kerja Rawa Buatan dalam mereduksi logam berat, khususnya Zn, Pb dan Cu telah dilaporkan oleh Walker dan Hurl (2002), sementara pembersihan terhadap logam berat lainnya termasuk Ca, Mg, Mn dan Na telah dicatat oleh Kohler dkk. (2004). Para peneliti lainnya juga telah melaporkan bahwa Rawa Buatan dapat secara signifikan mereduksi kandungan polutan organik seperti pestisida, insektisida, fungisida dan hidrokarbon (Kohler et al. 2004; Sherrard et al. 2004; Thurston 1999). Selain itu, Rawa Buatan dapat memusnahkan patogen-patogen melalui pencahayaannya oleh sinar ultraviolet pada zona air terbuka atau melalui proses penyerapan. Pada sebuah studi di Washington, Amerika Serikat, Reinelt dan Horner (1995) melaporkan rata-rata tahunan reduksi faecal coliform sebesar 49%.

Pengaruh Faktor-faktor Hidrolika pada Proses Penjernihan Air

Proses penjernihan air hujan pada Rawa Buatan dipengaruhi oleh berbagai faktor hidrolika seperti muatan hidrolika, waktu retensi, karakteristik inflow dan kedalaman air (Carleton dkk. 2001; Holland dkk. 2004). Faktor-faktor ini mempengaruhi transportasi polutan selama periode penjernihan. Menurut Wong dkk. (1999) proses penjernihan juga dipengaruhi oleh hidrodinamika, kondisi batimetri dari wetland dan desain struktur outletnya. Meskipun demikian, para peneliti mencatat bahwa muatan hidrolika dan waktu retensi adalah dua faktor yang paling mempengaruhi kinerja penjernihan air oleh Rawa Buatan (Carleton dkk. 2001; Holland dkk. 2004; Fisher dkk. 2009).

Efektivitas Hidrologis dari Rawa Buatan

Sistem inlet didesain untuk volume dan debit optimum dari aliran air hujan yang masuk di Rawa Buatan. Pada dasarnya, Rawa Buatan yang menerima volume dan debit yang tinggi dapat menjadi sumber polutan dari pada fasilitas penjernihan air. Hal ini membuat para perencana menjaga kondisi hidrolika yang optimal di dalam Rawa Buatan dengan menyediakan sistem bypass. Akan tetapi sistem bypass akan mengurangi efektivitas hidrologis dari Rawa Buatan dengan membatasi aliran yang akan memasuki sistem. Efektivitas hidrologis diekspresikan sebagai prosentasi volume rata-rata tahunan runoff yang memasuki sistem Rawa Buatan setelah dikurangi dengan volume yang di-bypass terhadap total volume runoff yang terjadi pada catchment tersebut. Umumnya, efektivitas hidrologis dari sebuah Rawa Buatan yang direncanakan dengan baik adalah lebih dari 80%. Karena itu, dimensi Rawa Buatan harus direncanakan dengan mempertimbangkan sifat-sifat curah hujan yaitu intensitas hujan, jumlah curah hujan dan durasi hujan di wilayah dimana Rawa Buatan itu akan dibuat.

ANALISA HIDROLOGI

Analisa hidrologi dalam penelitian ini dimaksudkan untuk mendapatkan hidrograf limpasan permukaan dari catchment area yang memberikan kontribusi terhadap sistem rawa buatan yang akan digunakan sebagai input data pada simulasi komputer model neraca air pada sistem rawa buatan. Analisa dimulai dari penetapan besarnya curah hujan rancangan, dilanjutkan dengan perhitungan intensitas hujan untuk masing-masing durasi hujan kemudian analisa untuk mendapatkan hidrograf limpasan. Untuk melindungi vegetasi yang ada pada 'wetland cell' (sel rawa buatan) dari erosi dan gerusan, hujan rancangan dilakukan hanya untuk periode ulang sampai dengan 20 tahun, yang artinya kelebihan runoff dari curah hujan rancangan lebih dari 20 tahun akan 'di-bypass' sehingga tidak akan mengganggu wetland cell.

Uji Data Hujan Outlier

Sebelum data curah hujan dianalisa untuk mendapatkan curah hujan rancangan, terlebih dahulu dilakukan uji data outlier, untuk mengetahui apakah ada data curah hujan yang ekstrim karena kelalaian dalam pencatatan atau terjadi kondisi ekstrim. Uji data outlier ini dilakukan untuk data outlier tinggi dan data outlier rendah dengan syarat-syarat pengujian

berdasarkan koefisien skewness (Cs_{Log}):

- Uji outlier tinggi terlebih dahulu jika $Cs_{Log} > 0.4$
- Uji outlier rendah terlebih dahulu jika $Cs_{Log} < -0.4$
- Uji outlier tinggi dan rendah sekaligus jika $-0.4 < Cs_{Log} < 0.4$

dengan

$$Cs_{Log} = \frac{n \sum_{i=1}^n (Log X_i - \overline{Log X})^3}{(n-1)(n-2)S_{Log}^3}$$

dimana:

- X_i = Besarnya curah hujan tahun ke i
- $\overline{Log X}$ = Rata-rata nilai logaritma data X hasil pengamatan (mm)
- Cs_{Log} = Koefisien kemencengan (skewness) nilai logaritma
- S_{Log} = Simpangan baku nilai logaritma data X hasil pengamatan
- n = Jumlah data

Threshold untuk uji outlier tinggi dilakukan dengan menggunakan persamaan $Log X_h = \overline{Log X} + (S_{Log} \times K_n)$, dan untuk outlier rendah $Log X_h = \overline{Log X} - (S_{Log} \times K_n)$.

Dimana:

$$S_{Log} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Log X_i - \overline{Log X})^2}{n-1}}$$

Analisis Curah Hujan Rancangan

Tujuan dari analisis frekuensi curah hujan ini adalah untuk memperoleh curah hujan rancangan untuk beberapa periode ulang menurut beberapa jenis distribusi. Dimana pada penelitian ini dilakukan terhadap tiga jenis sebaran distribusi yaitu distribusi Gumbel Tipe I, distribusi Log Normal 2 Parameter dan distribusi Log Pearson Tipe III.

1. Distribusi Gumbel Tipe I

Persamaan empiris untuk distribusi Gumbel Tipe I sebagai berikut:

$$X_t = \bar{X} + (S \times K_G)$$

dimana:

- X_t = Besarnya curah hujan dengan periode ulang t tahun (mm)
- \bar{X} = Nilai rata-rata hitung X (mm)
- K_G = Faktor frekuensi yang dihitung dengan $K_G = \frac{Y_T - Y_n}{S_n}$
- Y_T = Reduced variate atau nilai reduksi data dari variabel yang diharapkan terjadi pada periode T, dihitung dengan $Y_T = -L_n \left\{ -L_n \left[\frac{T(x)-1}{T(x)} \right] \right\}$

- Y_n = Reduced mean/reduksi nilai rata-rata data
 S_n = Reduced standard deviation/ reduksi simpangan baku
 S = Simpangan baku, dihitung dengan

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

2. Distribusi Log Normal 2 Parameter

Distribusi Log-normal dua parameter mempunyai persamaan transformasi sebagai berikut:

$$\text{Log } X_t = \overline{\text{Log } X} + (K \cdot S \text{Log } X)$$

dimana:

- K = faktor frekuensi, sebagai fungsi dari koefisien variasi (C_v) dengan periode ulang t . Nilai K dapat diperoleh dari tabel yang merupakari fungsi peluang kumulatif dan periode ulang.
 C_s = koefisien kemencengan (skewness)
 $= 3 C_v + C_v^3$
 C_K = koefisien kurtosis
 $= C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$
 C_v = koefisien variasi $= \frac{\sigma}{\mu}$
 σ = deviasi standar populasi $\text{Ln } X$ atau $\log X$
 μ = rata-rata hitung populasi $\text{Ln } X$ atau $\log X$

3. Distribusi Log Pearson Tipe III

Distribusi Log Pearson Tipe III merupakan hasil transformasi dari distribusi Pearson Tipe III dengan menggantikan data menjadi nilai logaritmik. Persamaan distribusi Log Pearson Tipe III dapat ditulis sebagai berikut:

$$\text{Log } X_t = \overline{\text{Log } X} + (G \times S)$$

Dimana:

- C_s = koefisien kemencengan

$$= \frac{n \cdot \sum (\log X - \overline{\log X})^3}{(n-1)(n-2)(\overline{S \log X})^3}$$

 C_K = koefisien kurtosis

$$= \frac{n^2 \cdot \sum (\log X - \overline{\log X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)(\overline{S \log X})^4}$$

Intensitas Curah Hujan

Intensitas hujan adalah tinggi hujan atau volume hujan per satuan waktu. Perhitungan intensitas curah hujan di wilayah studi dilakukan dengan menggunakan rumus Mononobe. Besar intensitas curah hujan sangat tergantung pada besarnya waktu konsentrasi (t_c) dari aliran limpasan permukaan di wilayah tersebut. Waktu konsentrasi hujan adalah waktu yang diperlukan untuk mengalirnya air dari titik terjauh menuju

suatu titik tertentu yang ditinjau pada daerah pengaliran. Perhitungan intensitas hujan dengan menggunakan rumus Mononobe tersebut adalah seperti berikut ini.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \cdot \left(\frac{24}{t_c}\right)^{2/3}$$

dimana:

- I = Intensitas curah hujan (mm/jam)
 R_{24} = Curah hujan harian (mm)
 t_c = Waktu konsentrasi (jam)

METODOLOGI

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian adalah di wilayah Manado mencakup Kota Manado dan sekitarnya yang memiliki karakteristik hujan yang sama, di Provinsi Sulawesi Utara. Wilayah Manado dipilih menjadi lokasi penelitian ini dengan alasan ketersediaan data-data curah hujan yang lebih lengkap dan calon pengguna hasil standar desain ini yang secara kuantitas lebih banyak

Tahapan Penelitian

Penelitian yang diusulkan ini direncanakan akan dilaksanakan menurut tahap-tahap penelitian yang disusun secara berurutan sebagai berikut:

- 1) Pemantapan desain dan kerangka pelaksanaan penelitian. Output dari tahapan ini adalah diperolehnya rencana kerja yang jelas disesuaikan dengan waktu pelaksanaan.
- 2) Survey institusional, untuk memperoleh data-data sekunder, di antaranya adalah data curah hujan dari Kantor BMKG Manado dan Balai Wilayah Sungai Sulawesi I.
- 3) Analisa hidrologi untuk mendapatkan curah hujan rancangan.
- 4) Penetapan lokasi perencanaan dan pengambilan sampel tanah untuk dilakukan uji di laboratorium.
- 5) Pengujian tanah di laboratorium untuk mengetahui sifat-sifat tanah yang berhubungan dengan electric conductivity dan permeability
- 6) Penyiapan desain berdasarkan bentuk-bentuk Rawa Buatan yang sudah ada dan tersedia di tempat lain berdasarkan studi pustaka, serta seleksi model yang sesuai dengan wilayah Manado.
- 7) Pembuatan model hidrolika dari desain Rawa Buatan untuk dilakukannya simulasi terhadap variasi curah hujan yang terjadi di wilayah Manado.
- 8) Runing simulasi rainfall-runoff routing untuk

- menghasilkan hidrograf runoff
- 9) Running simulasi dan penyesuaian bentuk desain Rawa Buatan disesuaikan dengan karakteristik hujan di wilayah Manado agar diperoleh bentuk desain Rawa Buatan yang optimal.
 - 10) Evaluasi terhadap bentuk desain Rawa Buatan dan penetapan bentuk yang akan digunakan dan dijadikan standar desain.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Hidrologi

Analisa hidrologi dalam penelitian ini menggunakan data hujan yang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Manado untuk stasiun klimatologi Kayuwatu Manado selama 10 tahun terakhir pengamatan (tahun 2006 s/d 2015). Data tersebut pertama-tama menjadi subyek untuk uji data outlier. Uji data outlier ini dilakukan untuk data outlier tinggi dan data outlier rendah dengan syarat-syarat pengujian berdasarkan koefisien skewness (CS_{Log}) yang besarnya tergantung nilai S_{Log} :

$$S_{Log} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Log X_i - \overline{Log X})^2}{n-1}}$$

$$S_{Log} = 0.1793$$

Sehingga:

$$CS_{Log} = \frac{n \sum_{i=1}^n (Log X_i - \overline{Log X})^3}{(n-1)(n-2)S_{Log}^3}$$

$$CS_{Log} = 0.4009$$

Ternyata diperoleh $CS_{Log} > 0.4$ maka uji outlier tinggi terlebih dahulu dilakukan, kemudian dilakukan uji outlier rendah. Data yang digunakan dalam penelitian ini setelah dianalisa ternyata tidak terdapat data outlier tinggi maupun rendah.

Persamaan empiris untuk Distribusi Gumbel Tipe I, $X_T = \bar{X} + (S \times K)$, dengan harga-harga Reduced Variate (Y_T), Reduced Mean Mean ($Y_n=0,4952$) dan Reduced Standard Deviation ($S_n=0,9496$) untuk jumlah data 10 tahun menghasilkan besaran curah hujan seperti pada tabel 1.

Sementara dari persamaan $Log X_t = \overline{Log X} + (k \cdot S_{Log} X)$ untuk Distribusi Log Normal 2 Parameter, dengan harga-harga Koefisien Kemencengan ($C_s = 0,2875$), Koefisien Kurtosis ($C_k = 3,1473$) dan Koefisien Variasi ($C_v = 0,0955$) diperoleh table 2.

Tabel 1: Hujan Rancangan Menurut Distribsi Gumbel Tipe I

T	Y_T	Sd	Y_n	S_n	K	X (mm)
2	0,3665	36,9212	0,4952	0,9496	-0,1355	76,4465
5	1,4999	36,9212	0,4952	0,9496	1,0581	120,5151
10	2,2504	36,9212	0,4952	0,9496	1,8483	149,6923
20	2,9702	36,9212	0,4952	0,9496	2,6064	177,6797
25	3,1985	36,9212	0,4952	0,9496	2,8468	186,5577
50	3,9019	36,9212	0,4952	0,9496	3,5876	213,9066
100	4,6001	36,9212	0,4952	0,9496	4,3228	241,0536

Tabel 2: Hujan Rancangan Menurut Distribsi Log Normal 2 Parameter

T	P	k	Log X_t	X_t (mm)
2	0,5000	-0,0474	1,8677	73,7357
5	0,2000	0,8232	2,0237	105,6206
10	0,1000	1,3068	2,1104	128,9560
20	0,0500	1,7213	2,1847	153,0190
25	0,0400	1,8021	2,1992	158,2075
50	0,0200	2,2060	2,2716	186,9110
100	0,0100	2,5407	2,3316	214,6066

Tabel 3: Hujan Rancangan Menurut Distribusi Log Pearson Tipe III

T	P(%)	Cs	G	Log X_t	X_t (mm)
2	50	0,4009	-0,0682	1,8640	73,1069
5	20	0,4009	0,8661	2,0314	107,5058
10	10	0,4009	1,3301	2,1146	130,2032
20	5	0,4009	1,7978	2,1985	157,9286
25	4	0,4009	1,8913	2,2152	164,1454
50	2	0,4009	2,2705	2,2832	191,9564
100	1	0,4009	2,6227	2,3463	221,9922

Dan yang terakhir adalah besaran curah hujan rancangan menurut distribusi Log Pearson Tipe III berdasarkan persamaan distribusi $\text{Log } X_t = \overline{\text{Log } X} + (G \times S)$, dengan harga-harga Koefisien Kemencengan ($C_s = 0,4009$) dan Koefisien Kurtosis ($C_k = 0,9253$) diperoleh tabel 3.

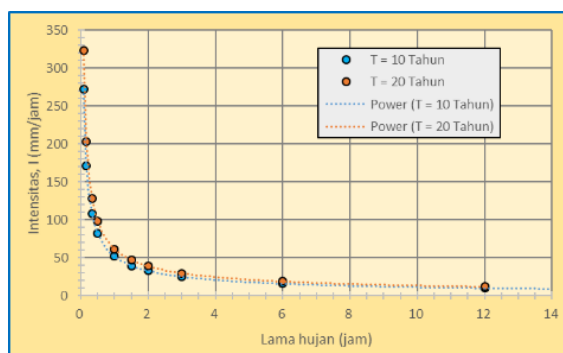
Intensitas Curah Hujan

Besarnya curah hujan harian rancangan yang akan digunakan dalam perencanaan tergantung pada perioda ulang perencanaan, sedangkan penetapan perioda ulang didasarkan dan tergantung pada tingkat resiko dan biaya konstruksi. Pengambilan perioda ulang yang lebih singkat akan memperkecil biaya konstruksi dari bangunan drainase atau air hujan yang direncanakan, konsekuensinya resiko kerugian dan kerusakan yang akan ditimbulkan akan menjadi lebih besar. Sebaliknya pengambilan perioda ulang yang lebih lama akan membuat anggaran biaya membengkak tapi resiko kerugian yang ditimbulkan akan menjadi lebih kecil.

Untuk mengurangi resiko kerusakan vegetasi pada Wetland Cell, maka umumnya perioda ulang yang diambil adalah 10 tahun atau 20 tahun. Curah hujan yang lebih besar dari 10 tahun dan 20 tahun perioda ulang akan menyebabkan kelebihan runoff dibuang lewat wetland bypass. Dengan demikian dari Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3, curah hujan harian rancangan terbesar dari ketiga distribusi yang dianalisa untuk perioda ulang 10 tahun adalah 149.69 mm dan untuk perioda ulang 20 tahun adalah sebesar 177.68 mm. Dengan menggunakan rumus mononobe, hubungan antara intensitas curah hujan dan lamanya hujan baik untuk hujan dengan kala ulang 10 tahun maupun 20 tahun tertuang dalam Tabel 4 dan dapat digambarkan dalam bentuk Kurva Intensity-Frequency-Duration (IFD) menurut Gambar 2.

Tabel 4: Hasil Perhitungan Intensitas Curah Hujan

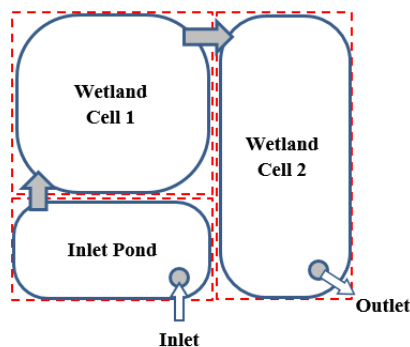
Lamanya Hujan, t (menit)	Lamanya Hujan, t (Jam)	Intensitas, I (mm/jam)	
		T = 10 Tahun	T = 20 Tahun
5	0,083	272	323
10	0,167	171	203
20	0,333	108	128
30	0,5	82	98
60	1,0	52	62
90	1,5	40	47
120	2	33	39
180	3	25	30
360	6	16	19
720	12	10	12

**Gambar 2: Kurva Intensitas-Frekuensi-Durasi (IFD)**

Pemodelan Simulasi Komputer

Pemodelan simulasi komputer pertama dilakukan untuk mendapatkan hydrograph runoff, dengan menggunakan prosedur rainfall-runoff routing maka simulasi model rainfall runoff dilakukan untuk menghasilkan hidrograf runoff dari curah hujan yang terjadi. Simulasi komputer yang kedua dilakukan terhadap hidrograf runoff untuk mengetahui proses hidrolika selama runoff tersebut mengalir dalam rawa buatan rencana. Berbagai konfigurasi rawa buatan telah dipertimbangkan, sehingga pada akhirnya

konfigurasi yang diusulkan dalam penelitian ini dianggap merupakan konfigurasi yang sesuai untuk Wilayah Manado. Salah satu konfigurasi wetland rencana yang ikut dipertimbangkan dalam simulasi yang dilakukan adalah seperti pada Gambar 3.



Gambar 3: Salah Satu Konfigurasi Wetland yang Disimulasi

Konfigurasi dan Dimensi Optimal Rawa Buatan untuk Wilayah Manado

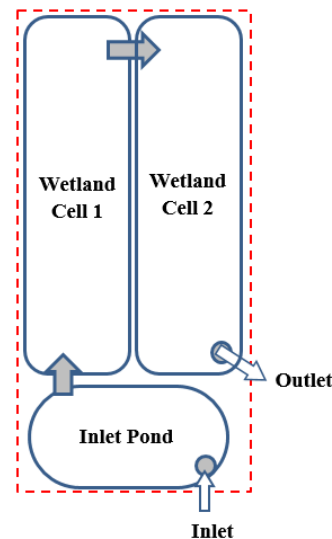
Simulasi komputer menghasilkan indikator desain dan kapasitas Constructed Wetland/ Rawa Buatan disesuaikan dengan sifat-sifat hujan di wilayah Manado. Secara garis besar ada 2 (dua) indikator yang diperoleh yaitu bentuk konfigurasi Rawa Buatan yang sesuai untuk Wilayah Manado dan Dimensi Rawa Buatan terhadap luas daerah tangkapan hujan (catchment area) yang dilayani.

Setelah dicoba dengan berbagai konfigurasi yang memungkinkan, maka didapat konfigurasi yang paling optimal, yang memberikan residence time yang cukup untuk terjadinya proses stormwater treatment (penjernihan runoff) disatu sisi memberikan kapasitas efektif hidrolika (hydraulic effectiveness) yang cukup besar. Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa proporsi luas wetland terhadap daerah tangkapan hujan (catchment area) yang dilayaninya yang memberikan hasil yang optimal dan efektif adalah sebagai berikut:

- Proporsi inlet pond terhadap luas catchment : 0,20 %
- Proporsi wetland cell terhadap luas catchment : 1,30 %

Dengan demikian untuk setiap 1 ha luas catchment dibutuhkan 20 m² inlet pond dan 130 m² wetland cell, sehingga jumlah luas total wetland yang dibutuhkan adalah 150 m²

Konfigurasi Rawa Buatan yang optimal tersebut diberikan pada Gambar 4.



Gambar 4: Konfigurasi Rawa Buatan yang Optimal

KESIMPULAN

Constructed Wetland (Rawa Buatan) dapat dimanfaatkan sebagai komponen drainase berwawasan lingkungan di Wilayah Manado dengan beberapa modifikasi terhadap pemanfaatannya di negara beriklim sub tropis. Pola hujan yang berbeda menyebabkan konfigurasi wetland yang optimum sedikit berbeda serta dimensi proporsi komponen wetland yang sedikit lebih besar, baik untuk inlet pond-nya maupun untuk cell-cellnya. Konfigurasi yang optimum diperlihatkan pada Gambar 5, sedangkan proporsi luas inlet pond dan wetland cell terhadap luas catchment area berturut-turut sebesar 0,20 % dan 1,30 %. Dengan demikian proporsi total luas wetland terhadap catchment area adalah 1,50 %.

DAFTAR PUSTAKA

- Bautista, M. F. and Geiger, N. S., (1993), 'Wetlands for Stormwater Treatment', *Water Environment & Technology*, Vol. 5, No. 7, pp 50-5.
- Brown, R., (2005), 'Impediments to Integrated Urban Stormwater Management: The Need for Institutional Reform', *Environmental Management*, Vol. 36, No. 3, pp. 455-68.

- Carleton, J. N., Grizzard, T. J., Godrej, A. N. and Post, H. E., (2001), 'Factors affecting the performance of stormwater treatment wetlands', *Water Research*, Vol. 35, No. 6, pp. 1552-62.
- Clar, M. L., Barfield, B. J. and O'Connor, T. P., (2004), *Stormwater Best Management Practice Design Guide, Volume 1: General Considerations*, Cincinnati, OH: U.S. Environmental Protection Agency.
- Davies, T. H. and Hart, B. T., (1990), 'Use of aeration to promote nitrification in reed beds treating wastewater', *Advanced Water Pollution Control*, Vol. 11, pp. 77-84.
- Department of Water and Swan River Trust. (2007). *Stormwater Management Manual for Western Australia: Structural Controls*, edited by Torre, A. and Monk, E. Perth W. A.: Department of Water, Government of Western Australia.
- Fisher, J., Stratford, C. J. and Buckton, S., (2009), 'Variation in nutrient removal in three wetland blocks in relation to vegetation composition, inflow nutrient concentration and hydraulic loading', *Ecological Engineering*, Vol. 35, No. 10, pp. 1387-94.
- Goonetilleke, A. and Thomas, E., (2003), 'Water quality impacts of urbanisation: Evaluation of current research', *Departmental Technical Report, Centre for Built Environment and Engineering Research*, Brisbane: Queensland University of Technology, pp. 1-93.
- Goonetilleke, A., Thomas, E., Ginn, S. and Gilbert, D., (2005), 'Understanding the role of land use in urban stormwater quality management', *Journal of Environmental Management*, Vol. 74, No. 1, pp. 31-42.
- Herngren, L., Goonetilleke, A. and Ayoko, G. A., (2006), 'Analysis of heavy metals in road-deposited sediments', *Analytica Chimica Acta*, Vol. 571, No. 2, pp. 270-8.
- Holland, J. F., Martin, J. F., Granata, T., Bouchard, V., Quigley, M. and Brown, L., (2004), 'Effects of wetland depth and flow rate on residence time distribution characteristics', *Ecological Engineering*, Vol. 23, No. 3, pp. 189-203.
- Jenkins, G. A. and Greenway, M., (2005), 'The hydraulic efficiency of fringing versus banded vegetation in constructed wetlands', *Ecological Engineering*, Vol. 25, No. 1, pp. 61-72.
- Kohler, E. A., Poole, V. L., Reicher, Z. J. and Turco, R. F., (2004), 'Nutrient, metal, and pesticide removal during storm and nonstorm events by a constructed wetland on an urban golf course', *Ecological Engineering*, Vol. 23, No. 4-5, pp. 285-98.
- Lloyd, S. D., Wong, T. H. F. and Chesterfield, C. J., (2002), 'Water Sensitive Urban Design - A Stormwater Management Perspective', *Industry Report 02/10*, Melbourne: Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology.
- Mangangka, I. R., Egodawatta, P., Parker, N., Gardner, T., & Goonetilleke, A (2013), 'Performance characterisation of a constructed wetland', *Water Science and Technology*, Vol. 68, No. 10, pp. 2195-201.
- Mangangka, I. R., Liu, A., Egodawatta, P., Goonetilleke, A., (2015), 'Sectional analysis of stormwater treatment performance of a constructed wetland', *Ecological Engineering*, Vol. 77 (April 2015), pp. 172-179
- Mangangka, I. R., Liu, A., Goonetilleke, A., Egodawatta, P. (2016), 'Assessing Constructed Wetland Treatment Performance', in *Enhancing the Storm Water Treatment Performance of Constructed Wetlands and Bioretention Basins*. pp. 49-61. Singapore: Springer Singapore.
- Mitsch, J. W. and Gosselink, J. G., (1986), *Wetlands*, New York: Van Nostrand Reinhold Company.
- Parker, N., Gardner, T., Goonetilleke, A., Egodawatta, P. and Giglio, D., (2009). 'Effectiveness of WSUD in the Real World'. In *The 6th International Water Sensitive Urban Design Conference and Hydropolis*. Perth: Western Australia.
- Prakash, A., (2005), 'Impact of urbanization in watersheds on stream stability and flooding', in *The Proceedings of the Watershed Management Conference (eds)*, Williamsburg: Virginia.
- Reinelt, L. E. and Horner, R. R., (1995), 'Pollutant removal from stormwater runoff by palustrine wetlands based on comprehensive budgets', *Ecological Engineering*, Vol. 4, No. 2, pp. 77-97.

- SEQHWP, (2006), *Water Sensitive Urban Design Technical Design Guidelines for South East Queensland*. Brisbane: South East Queensland Healthy Waterways Partnership and Brisbane City Council.
- Sherrard, R. M., Berr, J. S., Murray-Gulde, C. L., Rodgers, J. H. and Shah, Y. T., (2004), 'Feasibility of constructed wetlands for removing chlorothalonil and chlorpyrifos from aqueous mixtures', *Environmental Pollution*, Vol. 127, No. 3, pp. 385-94.
- Victorian Stormwater Committee, (1999), *Urban stormwater: Best practice environmental management guidelines*, Collingwood VIC: CSIRO Publishing
- Walker, D. J. dan Hurl, S., (2002), 'The reduction of heavy metals in a stormwater wetland', *Ecological Engineering*, Vol. 18, No. 4, pp. 407-14.
- Wetzel, R. G., (1983), *Limnology*, Orlando, Florida: Saunders college publishing
- Wong , T., Breen, P. and Lloyd, S., (2000), 'Water sensitive road design - Design options for improving stormwater quality of road runoff', *Technical Report, Report 00/1*, Cooperative Research Centre (CRC) for Catchment Hydrology.
- Wong, T. H. F., Breen, P. F., Somes, N. L. G. and Lloyd, S. D., (1999), 'Managing Urban Stormwater Using Constructed Wetlands', *Industry Report, Report 98/7*, Cooperative Research Centre (CRC) for Catchment Hydrology and Department of Civil Engineering, Monash University

Halaman ini sengaja dikosongkan